

PRATIQUES NOUVELLES EN CONCEPTION INDUSTRIELLE : ADAPTATION DES ACTEURS, DES OBJETS MEDiateURS ET DES MODALITES DE TRAVAIL.

Catherine Elsen

Aspirante F.R.S.-FNRS, LUCID-ULg, Chemin des chevreuils 1 (bat. B52/3) 4000 Liège (Be)
catherine.elsen@ulg.ac.be

Arnaud Dawans

Ingénieur de Recherche, LUCID-ULg, Chemin des chevreuils 1 (bat. B52/3) 4000 Liège (Be)
arnaud.dawans@ulg.ac.be

Résumé. Une intervention in situ de deux mois au sein d'une équipe de conception de produits industriels (designers, dessinateurs), construite sur les méthodologies et théories de l'approche ergonomique « compréhensive », interroge les pratiques nouvelles de ces métiers depuis l'avènement de la CAO. Les « objets médiateurs » sont considérés selon leurs apports respectifs et complémentaires et non plus selon une approche dichotomique, et leur étude structure l'ensemble du recueil des données. Une méthodologie de traitement et d'analyse des informations récoltées est présentée (approche chronologique et analyses « verticales » sur base de lignes du temps). Celle-ci nous permet de tracer les nombreuses adaptations dont font preuve les acteurs tout au long de leur processus: adaptations de leurs outils et représentations, de leurs modalités de travail individuelles ou collaboratives, adaptations et développement de nouvelles compétences.

Mots-clés : Evolution et adaptation des pratiques de la conception, objets médiateurs, impact de la CAO.

Outils traditionnels *versus* outils numériques : nouvelles perspectives pour les métiers de la conception

L'avènement des outils numériques de conception, dits de « Conception Assistée par Ordinateur » (CAO), marque un tournant crucial dans la pratique des métiers de la conception et de la production - architecture, design industriel, ingénierie, ... - depuis les années 80 (parfois même plus tôt dans le domaine du génie mécanique). Initialement conçus afin d'optimiser, d'évaluer et de mettre en plan de production des objets dont la conception en tant que telle est considérée comme achevée, ces outils voient rapidement leur utilisation détournée et adaptée à d'autres fins par leurs utilisateurs. Ils deviennent support à la communication (en présentiel synchrone entre acteurs de compétences différentes, puis très rapidement en asynchrone distant, et aujourd'hui presque efficacement en synchrone distant) ; ils sont argument de vente par les visualisations qu'ils autorisent et même support à la créativité, quelques fois (Robertson & Radcliffe, 2009).

Les débats qui s'ouvrent depuis quelques années sur la définition même de la créativité (est-elle associée, pour chaque métier, à un outil particulier ? peut-elle se manifester au travers de toute interface, même numérique ?) et de la conception (frontières entre pré-conception et production ? acteurs privilégiés ? avantages d'une interface dédiée ?) témoignent de la place croissante que prennent les outils de CAO au sein des pratiques quotidiennes en conception, et de la difficulté qu'éprouvent les chercheurs à en examiner rapidement tous les impacts (l'efficacité d'interfaces dédiées est abordée par exemple dans Dawans, Demaret, Safin, Schmitz et Leclercq, 2009).

Dans les domaines de l'architecture et du design industriel, cette étude des impacts de la CAO est quasi systématiquement réalisée en comparant les avantages et inconvénients de ces outils vis-à-vis d'outils dits plus « traditionnels », tels qu'esquisses à main levée ; maquettes ou prototypes (Robertson & Radcliffe, 2009 ; Bilda & Gero, 2005). Ainsi, de nombreuses recherches (le plus souvent expérimentales et mettant les concepteurs en situation de conception pendant quelques heures) attestent de l'efficacité du dessin « papier-crayon » à soutenir l'émergence des idées en phase de « pré-conception » tandis que la CAO constitue encore un frein à la créativité mais un véritable catalyseur des phases productives (Ullman, Wood & Craig, 1989 ; Suwa, Purcell & Gero, 1998). Un verrou subsiste donc dans l'approche intégrative de ces différents instruments pour la mise au point d'un « super-outil » soutenant l'ensemble du processus de conception.

Toutefois on prouve aujourd'hui que ces outils, traditionnels ou numériques, avec leurs potentiels et limitations, s'associent étroitement tout au long du processus (Elsen, 2010). Le verrou illustré par une large littérature ne semble donc pas être un frein aux capacités d'adaptation et d'apprentissage des opérateurs confrontés aux contraintes des différents contextes de travail.

En conséquence, nous proposons d'étudier les apports respectifs des « objets médiateurs » de la conception pour leurs complémentarités, telles qu'elles sont exploitées sur le terrain, et non pour leurs dysfonctionnements théoriques, en outillant cette étude par les méthodologies adaptées de l'ergonomie et de la théorie de l'activité.

Observation *in situ* des pratiques « métier » : le cas du design industriel

Trois propositions fondamentales structurent notre intervention :

- (i) le principe de « non-dichotomie » qui suggère que les outils médiateurs utilisés en pratique n'ont plus à être étudiés comparativement puisqu'ils sont exploités et modifiés par les opérateurs en regard de leurs avantages respectifs et selon leurs caractères complémentaires;
- (ii) l'approche ergonomique anthropo-centrée, basée sur la théorie de l'activité, qui recentre l'étude du processus de conception (*l'objet*) sur l'homme, acteur principal (*le sujet*), qui évolue au sein d'un contexte particulier, en relation avec ses propres productions et avec d'autres acteurs de la conception et qui utilise *des outils*;
- (iii) l'examen des « objets médiateurs » (on étire ainsi la notion « d'outils médiateurs » aux représentations externes générées) considérés comme les traces principales de l'activité, et dont l'étude est basée sur la théorie instrumentale (Rabardel, 1995 ; Béguin & Rabardel, 2000).

Cette intervention de deux mois au sein d'une équipe de concepteurs (équipe R&D d'une entreprise de conception de corps de chauffe composée de 6 designers industriels et 3 dessinateurs) nous offre une riche collection de données. Celles-ci proviennent d'entretiens semi-directifs, d'analyses rétrospectives (de projets achevés ou en cours) et d'observations *in situ* de produits en cours de conception. Des « lignes du temps » (retraçant l'histoire de 5 produits clefs de l'entreprise) ainsi que des graphes d'activité des acteurs de la conception sont construits sur base des observations instantanées, des bandes sons et vidéos capturées et codées.

Les lignes du temps de 5 projets comme « traceurs » des adaptations

Ces lignes du temps nous ont permis, entre autres, de pister l'ensemble des adaptations dont les acteurs de la conception doivent faire preuve tout au long du processus de conception.

Elles sont constituées, en abscisse, de l'échelle temporelle du processus de conception capturé (Fig.1). La densité des informations présentées chronologiquement varie en fonction de la source: la granulométrie des informations issues d'un entretien (relatant en 90 minutes l'ensemble d'un processus de conception – approche « macroscopique ») sera moins fine que celles issues d'une observation instantanée d'un « moment de conception » (approche « microscopique »). En ordonnée, les lignes du temps présentent les différents critères codés, à savoir les modalités de collaboration et les exploitations faites des différents objets médiateurs. Les différentes étapes de la conception observées sont classées selon ces critères de codage et sont structurées graphiquement de manière à ce que leur analyse révèle (i) sur un axe vertical les occurrences concourantes de leurs caractéristiques et (ii) sur un axe horizontal leur importance temporelle au sein du processus (via la longueur des bâtonnets).

Cette méthode, malgré ses limitations, nous permet de rassembler un maximum de données durant une fenêtre temporelle d'intervention relativement limitée. Son caractère qualitatif permet de prendre en compte certains « sauts » de conception, isolés et très courts mais porteurs d'une signification primordiale pour la compréhension du processus et qui seraient mis au second plan au travers d'une analyse plus quantitative, comme le soulignent Brassac & Grégori (2003).

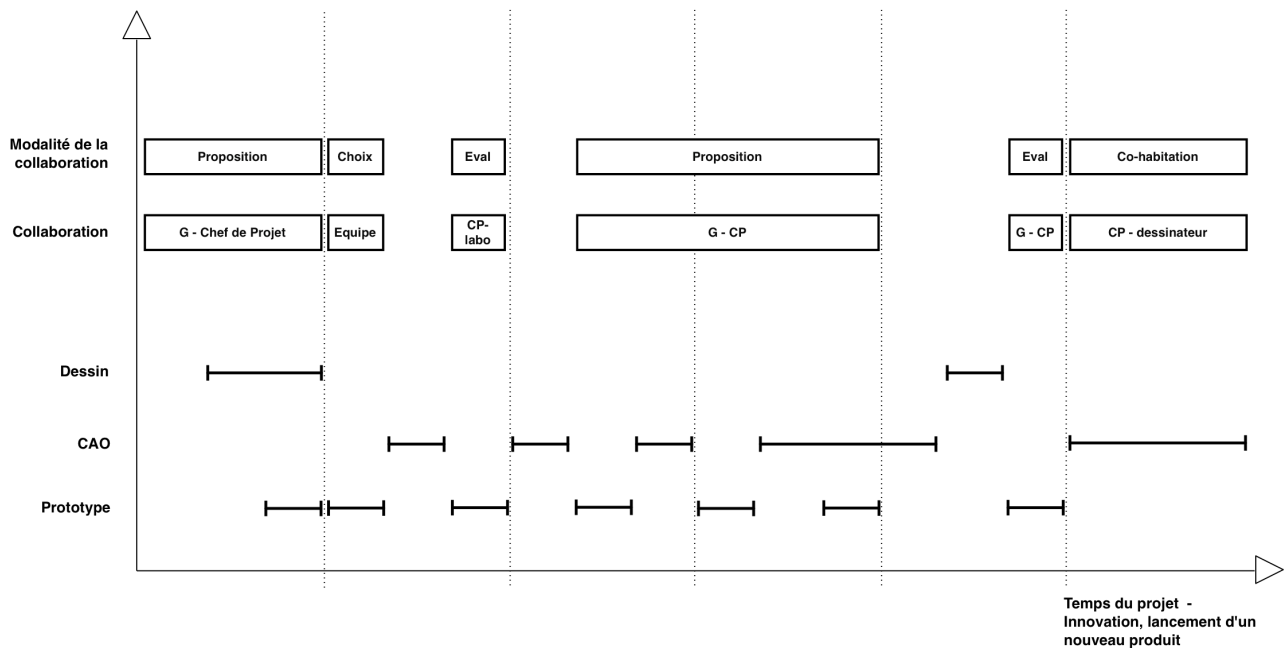


Fig 1. La ligne du temps d'un des projets illustre les séquences d'utilisation des objets médiateurs en relation avec la modalité collaborative en cours.

Des liens ont pu être établis, sur base de ces lignes du temps, entre les occurrences d'usage des objets médiateurs et certains éléments du contexte (comme par exemple l'utilisation d'un certain type d'esquisses lors de la résolution d'un nœud technologique avec un collègue de compétences complémentaires). Ces liens suggèrent qu'un certain nombre d'adaptations ont bel et bien lieu tout au long du processus: adaptation des acteurs de la conception aux nouveaux déterminants de leur tâche; adaptations et détournements des objets médiateurs afin qu'ils répondent à l'objectif poursuivi ou encore adaptation des modalités de travail aux contraintes « contemporaines ». Les analyses de ces adaptations ont été détaillées et complétées grâce au verbatim recueilli.

Nouvelles pratiques, nouvelles adaptations

D'une façon générale, les résultats issus de notre recherche tendent à prouver que la conception (peu importe le stade) a été fortement influencée depuis l'avènement des outils de CAO qui font maintenant partie intégrante des pratiques usuelles. Dans le cas particulier étudié, le plus fort impact se traduit par l'intégration, tout au long du processus, d'un nouvel acteur, que nous appelons le « designer-dessinateur ». Les compétences de ce dernier ne se limitent en effet plus à de l'exécution puisqu'il participe activement au développement du produit et à sa « programmation ».

Ces pratiques neuves s'accompagnent d'une redéfinition des phases de la conception. Nous avons en effet pu observer que les outils de modélisation 3D sont utilisés très tôt dans le processus, et constituent un réel soutien de l'idéation via les fonctionnalités de modélisations rapides, de visualisations dynamiques, d'introduction d'une nouvelle pièce au sein d'un environnement pré-existant (afin de tester les conflits et l'interfaçage avec les autres pièces, tant en statique que dynamique) et de définition des proportions, et ce dès le stade formel. Les phases autrefois dites « conceptuelles » et associées à « l'esquisse à main levée » voient leurs frontières élargies à l'utilisation de la CAO via des modèles 3D « esquissés », simples dans leur construction et rapidement paramétrables, constituant ainsi pour les opérateurs un outil de pré-conception à part entière. De même, respectivement, le dessin à main levée pourra être utilisé plus tard durant la phase productive de la conception afin de mettre au point et tester une solution technique à un « nœud technologique » qui aura été décelé au cours de la modélisation numérique. Des « micro-phases » d'idéation conceptuelle et de résolution technologique réapparaissent ainsi tout au long du processus et génèrent de constants allers-retours entre les objets médiateurs à disposition des acteurs, selon les objectifs poursuivis et les apports respectifs des outils.

Les potentiels originels des outils sont donc déviés, adaptés par les opérateurs en fonction de leurs besoins et

des contraintes apparaissantes. D'autres adaptations, plus spécifiques au domaine étudié, sont présentées ensuite.

Les adaptations des acteurs

Les opérateurs s'adaptent à plusieurs reprises aux outils qu'ils utilisent et qui les conditionnent.

- **Arbres de référencement** : le logiciel CAD utilisé dans ce cas particulier, Pro-Engineer® (ou Pro-E), avec ses fonctions spécialisées pour la découpe et le pliage de tôles, présente bien des avantages pour les designers et dessinateurs. Le plus important est la capacité de visualiser les assemblages indépendamment ou au sein de leur environnement, afin de s'assurer qu'aucun conflit entre les pièces ne subsiste. Une option plus particulière de Pro-E est l'abstraction de chaque pièce construite dans un historique de fonctions appelé "arbre de référencement". Cet arbre organise hiérarchiquement les pièces : au sommet de l'arbre, le volume complet. Ce volume est composé lui même d'assemblages fixés sur les "squelettes" qui eux se décomposent en pièces. L'avantage d'une telle structure est la possibilité de modification et de paramétrage : si un paramètre est modifié dans une première fonction, la modification se propage à tous les niveaux inférieurs de l'arbre et se répercute aux pièces voisines. Mais ces possibilités de modifications et paramétrages peuvent également constituer un piège. En effet, une pièce considérée seule peut être modifiée très simplement, mais si elle est liée à d'autres pièces de l'environnement, cette modification va influencer les pièces avoisinantes. Ceci peut passer inaperçu aux yeux de l'utilisateur mais créer des conflits entre les pièces. Le logiciel ne fournit pas d'alertes à ce niveau, ni de possibilités de « gel » des attributs comme c'est le cas sur le dessin à main levée (au travers d'une cristallisation des traits principaux en les repassant plusieurs fois, voir à ce sujet Leclercq & Elsen, 2007). Nous avons pu observer que deux opérateurs (un designer et un ingénieur-dessinateur) ont dû s'adapter à ces limitations à plusieurs reprises : travaillant ensemble à la conception (via la modélisation 3D) d'un corps de chauffe, mais sur des pièces différentes, ils ont réorganisé leur répartition des tâches pour pouvoir efficacement travailler sans « parasiter » les tâches de l'autre. Cette « co-habitation » des opérateurs sur un même modèle a été rendue possible via l'adoption d'un outil de partage de références appelé « SAP », et qui permet à chacun de verrouiller certaines parties du modèle, d'acquiescer des « droits » exclusifs sur d'autres, de définir des interfaces d'échange et des zones libres de travail. L'objectif de l'outil SAP est de mettre sans cesse à jour le modèle partagé et d'empêcher l'accès à certaines zones de travail « privatisées ». Le binôme de logiciels « Pro-E/SAP » restructure totalement les modalités du travail collaboratif, puisqu'auparavant les opérateurs devaient consacrer une à deux heures de leur travail quotidien à la mise en commun des parties de modèle modifiées. De même, il requiert que les utilisateurs modifient leur manière de concevoir (modéliser), puisqu'ils doivent construire leur partie du modèle en limitant au maximum les interfaces entre pièces. Cette adaptation exige parfois de gros efforts de la part des opérateurs. L'un d'entre eux dit à ce propos : *"je n'arrivais pas à le faire au début : il me faut dessiner un peu, définir les interfaces topologiques de manière assez précise pour que ça fonctionne"*. Il ajoute : *"un autre souci est que pour modéliser une pièce faisant partie d'un assemblage, il faut avoir les droits sur l'assemblage de tête. Mais comme on travaille à plusieurs sur un même assemblage, on a tous besoin des droits, ce qui n'est pas possible... alors c'est difficile pour la répartition des tâches. Pour le moment on bricole en annonçant à l'ordi qu'on a rien modifié"*. On voit ici que la modalité de collaboration impacte réciproquement l'utilisation des outils, générant ici ce que l'on pourrait appeler une « catachrèse » dans l'information réellement fournie à l'outil de gestion SAP.

- **Programmation de la modélisation**: un autre phénomène d'adaptation intervient au cours du processus de conception via la CAO. Certains designers "voient" et conçoivent en effet mentalement les objets en 3D et préfèrent coucher les idées en 2D si les potentiels du plan leur suffisent. Dans le cas où ils doivent eux même modéliser le produit sur Pro-E à partir de ce plan, une "gymnastique" de transition, plus ou moins complexe pour certains, apparaît. Un opérateur dit à ce propos : *"si j'avais le choix, je préférerais modifier tout directement en 3D : visuellement ce serait plus facile, et on ne devrait pas faire la gymnastique intellectuelle de comprendre en 2D ce qu'on vient de voir en 3D, pour le modifier en 2D et voir finalement les conséquences de son acte en 3D"*.

Pour les dessinateurs, par contre, les transitions mentales sont d'un autre ordre: le passage du dessin 2D (donné par le designer) vers la 3D numérique peut devenir très difficile. Une réflexion initiale doit être faite d'abord pour savoir comment "décomposer" la pièce complexe en sous-éléments plus facilement modélisables. La question du "comment modéliser" se pose plus souvent que celle du "quoi modéliser" :

l'essence du dessin, noeuds techniques et points durs (points de passage obligés pour certains profils) sont extraits du dessin en premier lieu, sur base des connaissances partagées par chacun, et aident les opérateurs à structurer leur méthode de modélisation. Ils parlent à ce sujet même de “programmation” de la modélisation : il faut faire abstraction de la représentation et mettre au point anticipativement une stratégie efficace pour gagner du temps et construire des arbres de référencement cohérents.

- **Evolution de la définition de l'expertise:** les notions d'expertise en design industriel, modélisation 3D et génération de plans de production ne suffisent plus à la situation actuelle. Certains designers entament eux-mêmes des modèles, tandis que les dessinateurs peuvent se saisir du crayon pour proposer une solution technique de production en regard d'une infaisabilité révélée par le modèle. Les compétences sont de plus en plus partagées, et les expertises évoluent (tant au niveau de la CAO qu'en conception industrielle de corps de chauffe). Notons que ces adaptations passent par la construction constante d'un référentiel commun et du « design rationale » et par des phases de synchronisation cognitive (Darses, Détienne & Visser, 2004 ; Darses, 2004), qui sont rendues possibles par la configuration en « open space » des bureaux.

Les adaptations des objets médiateurs

Les opérateurs adaptent également les objets, médiateurs de leur activité, aux objectifs poursuivis.

- **Phénomènes de catachrèse:** ce phénomène, décrit dans Lefort (1982) et Rabardel (1995), apparaît à plusieurs reprises au long des processus observés. Nous avons déjà souligné les déviations des outils principaux, telles que le dessin à main levée « technologique » et le modèle 3D « esquissé ». Un autre exemple est la catachrèse du prototype comme support du dessin à main levée (Fig. 2). Le prototype est adapté et devient support d'un dessin explicatif entre deux designers.



Fig 2. Catachrèse du prototype : il devient support d'une esquisse à main levée.

- **Contenu de la représentation comme support collaboratif:** nous avons pu observer que le designer, prenant connaissance des « indices » utiles au dessinateur lorsqu'il analyse un dessin, tente de lui en faciliter la lecture en cristallisant les traits figurant ces indices (nœuds technologiques, points durs, interfaces avec l'environnement, annotations en suffisance, ...). De même, deux acteurs en collaboration utilisent toujours l'interface qui s'approche le plus des caractéristiques communes de leurs métiers respectifs et des représentations qui leur sont habituelles. Par exemple, un designer et un prototypiste partageant leurs connaissances en méthodes de production et assemblage de pièces échangent devant le prototype ; designer-dessinateur et designer « chef de projet », moins au fait des dernières modifications, coopèrent et se synchronisent devant un modèle 3D, désignent à l'écran en réintégrant toujours les pièces modifiées au sein d'un environnement pré-existant, connu de tous; designers et personnel du service marketing négocieront devant une maquette à l'aspect formel finalisé, etc.

Conclusions

Les méthodes ergonomiques d'observation et recueil des données *in situ* nous ont permis d'élargir les frontières traditionnelles des « phases » de la conception et des usages des outils. Le panorama dressé des adaptations qui apparaissent dans le domaine spécifiquement étudié nous permet d'entrevoir des solutions pour (i) une résolution de certains problèmes des phases aval des processus de production et (ii) la mise au point d'outils de soutien aux phases de conception qui soient plus adaptés aux pratiques réelles et en constante évolution de ces métiers complexes.

Ces solutions pourraient efficacement tirer parti du caractère complémentaire et multi-modal des objets médiateurs analysés, comme le suggérait notre hypothèse initiale de « non-dichotomie ».

En terme de perspectives, pour étendre nos résultats et pallier d'une certaine manière aux incontournables limitations de représentativité et reproductibilité, nous nous proposons de reproduire l'intervention dans une équipe de conception dont les produits (hygiène personnelle, épilateurs, ...) présentent un autre rapport d'échelle. Les dimensions et compositions de l'équipe sont semblables, mais les outils utilisés sont différents ainsi que, nous l'espérons, les modes de travail et adaptations aux contraintes professionnelles.

Bibliographie

Beguin, P. & Rabardel, P. (2000). Designing for instrument-mediated activity. *Scandinavian Journal of Information Systems*.

Bilda, Z. & Gero, J.S. (2005). *Do we need CAD during Conceptual Design ?* Proceedings of Computer Aided Architectural Design Futures.

Brassac, C. & Grégori, N. (2003). Etude clinique d'une activité collaborative : la conception d'un artefact. *Le travail Humain*, 2003/2, Vol 66, PUF, pp 101-126.

Darses, F. (2004). *Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique*. Document de synthèse en vue d'obtenir une Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paris V - René Descartes.

Darses, F., Détienne, F. & Visser, W. (2004). Les activités de conception et leur assistance, In Falzon P. (Eds), *Ergonomie*, PUF, pp 545-563.

Dawans, A., Demaret, J.-N., Safin, S., Schmitz, D. & Leclercq, P., (2009). Principes de modélisation pour la simulation acoustique. In J.C Bignon, G. Halin, S. Kubicki (Eds), *Conception architecturale numérique et approches environnementales*. Presses universitaires de Nancy, France. ISBN 13 978-2-86480-984-5.

Elsen, C., Darses, F. & Leclercq P. (2010). *An user-centered standpoint on mediating objects: evolution and extension of industrial design practices*. Proceedings of DCC'2010 – Fourth International Conference on Design Computing and Cognition, July 2010 Under Press (Accepted paper for oral presentation and publishing).

Leclercq, P. & Elsen, C. (2007). *Le croquis synthé-numérique*. Proceedings de SCAN 07, Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Liège.

Lefort, B. (1982). L'emploi des outils au cours de tâches d'entretien et la loi de Zipf-Mandelbrot. *Le Travail Humain*, 45(2), 307-316.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.

Robertson, B.F. & Radcliffe, D.F. (2009). Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design. *Computer-Aided Design* 41, 2009, pp. 136-146.

Suwa, M., Purcell, T. & Gero, J. (1998). *Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions*. Design Studies, Vol 19, Issue 4, pages 455-483.

Ullman, D.G., Wood, S. & Craig, D. (1989). *The importance of drawing in the mechanical design process*. Proceedings of NSF engineering design research conference (June).

Pro-Engineer : <http://www.4cad.fr/files/pro-engineer-brochure.pdf>